

### 折返しブレースの円形鋼管芯材の限界性能に関する研究

#### Study on the Critical Performance of the Folded-Brace Core Member using Circular Tube

○北澤龍太郎<sup>1</sup>, 波田雅也<sup>2</sup>, 北嶋圭二<sup>3</sup>, 中西三和<sup>3</sup>, 安達洋<sup>4</sup>

\* Ryutarou Kitazawa<sup>1</sup>, Masaya Hada<sup>2</sup>, Keiji Kitajima<sup>3</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>3</sup>, Hirorni Adachi<sup>4</sup>

Abstract: The purpose of this study was to investigate the deformation level that local buckling occurs on the folded-brace core member. This paper focused on the local buckling region of different length specimens to characterize it and evaluate the critical performance (critical displacement).

#### 1. はじめに

折返しブレースは、折返し方式で鋼材3本を直列結合し、軸降伏変位の増大効果と座屈拘束効果を有する耐震ブレースである(Fig.1)<sup>[1]</sup>。座屈拘束効果により全体座屈が拘束されるため、限界性能が芯材の局部座屈で決まることが明らかとなっている(Photo.1)<sup>[1]</sup>。

本研究の目的は、折返しブレースの芯材がどの程度の変形レベルで局部座屈するか(限界性能)を明らかにすることである。先行研究<sup>[2]</sup>では、芯材を想定した短柱試験体(3D試験体)で載荷実験を行い、単調圧縮載荷時の局部座屈挙動と、繰返し載荷時の疲労特性についてまとめた。

本報では、3D試験体の実験結果と同断面で長さを2倍にした6D試験体の実験結果を用いて、局部座屈が生じた領域(以降、局部座屈域  $L_b$ )に焦点をあて、その特性と限界変位について検討する。

#### 2. 単調圧縮載荷実験の結果

Table1に試験体諸元を示す。試験体は、試験体長さのみが異なり、他は全て共通である。Fig.3に、実験で

得られた軸力-軸変位関係(以降、 $N-\delta$ 関係)を示す。Fig.3(a)は実験終了までの全体図、Fig.3(b)は最大軸力  $N_{max}$  から  $0.8N_{max}$  まで耐力が低下した時まで(以降、 $0.8N_{max}$  低下時)の拡大図である。

Table2に、 $200\mu \sim 500\mu$ 程度の弾性域で評価した初期剛性  $k$  とその比(3D/6D)を示す。初期剛性の比は試験体長さが2倍に対して若干大きい。これは、試験体両端のリブPLに剛域が存在するためであり、剛性の差が2倍となるように剛域を評価すると、剛域長さは0.23D(20.8mm)であった。以降の検討では、試験体長さから剛域長さを差し引いた  $L'$  を可撓長さとして用いる。なお、算出した可撓長さ  $L'$  はTable1に併記している。

Fig.4に、変位  $\delta$  を可撓長さ  $L'$  で除した平均ひずみ  $\bar{\epsilon}$  による  $N-\bar{\epsilon}$  関係を示す。図より、最大軸力  $N_{max}$  までは両試験体同様の履歴を描いているが、最大軸力  $N_{max}$  以降は、6D試験体の方が急激に耐力が低下していることが確認できる。

Photo.2に、 $0.8N_{max}$  低下時の実験状況写真を示す。局部座屈は両試験体ともに部材の両端から  $0.8D$  近傍に発生し、その他の箇所には損傷は見られなかった。また、目視観測した局部座屈域  $L_b$  の長さは  $0.5D$  (44.75mm)程度であった。

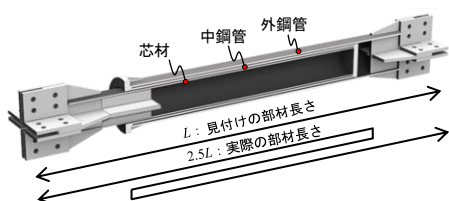


Fig.1 Folded Brace(perth)

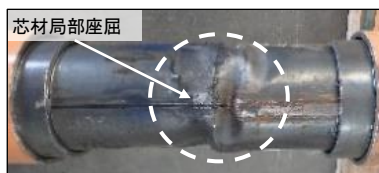


Photo.1 Local buckling of core member

Table 1 Specimen Specifications

試験体名	断面形状※ D×t	試験体長さ L [mm]	断面積 A [mm <sup>2</sup> ]	径厚比 D/t	可撓長さ L' [mm]
3D試験体	89.5×3.0	267	815	30.9	246
6D試験体		534			513

※断面形状は、実大芯材φ190.7×5.3を約1/2に縮小したもの

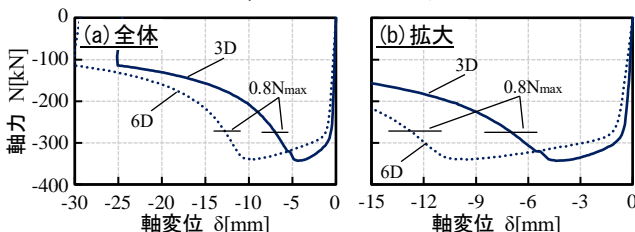


Fig.3 Axial force-Axial displacement relationship

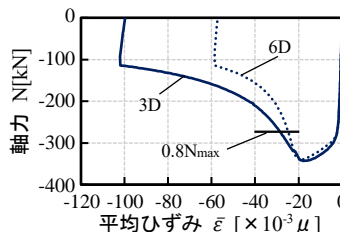
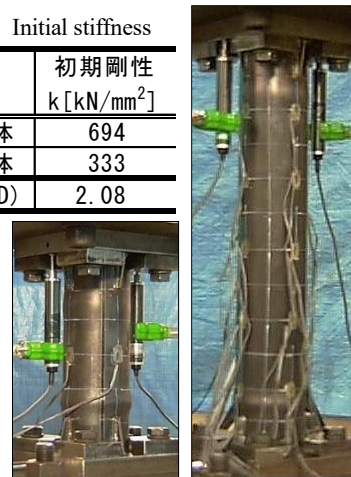


Fig.4 Axial force-Strain relationship

Table 2 Initial stiffness

	初期剛性 k [kN/mm <sup>2</sup> ]
3D試験体	694
6D試験体	333
比(3D/6D)	2.08



a) 3D試験体 b) 6D試験体

Photo.2 Experimental Situation

1 : 日大理工・院 (前)・海建 2 : 青木あすなる建設株式会社(日大理工・客員研究員) 3 : 日大理工・教員・海建  
4 : 日大名誉教授

### 3. 局部座屈域 L<sub>b</sub> の限界性能(限界変位)の検討

0.8N<sub>max</sub> 低下時を変形性能の限界時と定義し、実験結果から、局部座屈域 L<sub>b</sub> の限界時の変位(以降、限界変位 δ<sub>ub</sub>)の評価を行う。

Fig.5 に、局部座屈域 L<sub>b</sub> の算出の概念図を示す。試験体を、局部座屈域 L<sub>b</sub> とその他の領域 L<sub>a</sub> の2つの区間にわけ、それぞれの変位を δ<sub>b</sub>、δ<sub>a</sub> とすると全体の変位 δ は式(1)で示せる。ただし、本実験では、各区間の変形を直接計測していないため、次の仮定で各区間の変形が進行すると仮定し、式(2)~(5)で各区間の変形を算出した。

- ・最大軸力 N<sub>max</sub> までは試験体全体が一様に変形する。
- ・最大軸力 N<sub>max</sub> 以降は、局部座屈域 L<sub>b</sub> 区間のみ圧縮変形が進行し(図中→)、その他 L<sub>a</sub> 区間は荷重低下に伴い初期剛性の傾きで除荷される(図中→)。

$$\delta = \delta_b + \delta_a \quad (1)$$

$$\text{最大軸力 } N_{\max} \text{ まで: } \delta_b = \varepsilon_b L_b \quad (2)$$

$$\delta_a = \varepsilon_a L_a \quad (3)$$

$$\text{ただし, } \varepsilon_b = \varepsilon_a = \bar{\varepsilon}$$

$$\text{最大軸力 } N_{\max} \text{ 以降: } \delta_b = \delta - \delta_a = \bar{\varepsilon} L' - \varepsilon_a L_a \quad (4)$$

$$\delta_a = \left( \bar{\varepsilon}_{N_{\max}} - \frac{\Delta N}{EA} \right) \cdot L_a \quad (5)$$

δ: 軸変位 δ<sub>b</sub>: 局部座屈域の変位 δ<sub>a</sub>: その他の変位  
 ε<sub>b</sub>: 局部座屈域のひずみ L<sub>b</sub>: 局部座屈域の長さ (= 44.75mm)  
 ε<sub>a</sub>: その他のひずみ L<sub>a</sub>: そのほかの長さ (= L' - L<sub>b</sub>)  $\bar{\varepsilon}$ : 平均ひずみ  
 L': 可撓長さ (L' = L<sub>a</sub> + L<sub>b</sub>)  $\bar{\varepsilon}_{N_{\max}}$ : 最大軸力時の平均ひずみ  
 ΔN: 最大軸力 N<sub>max</sub> 後の軸力の減少量 E: ヤング係数 A: 断面積

Fig.6 に N-ε̄ 関係と式(2)~(5)で算出した局部座屈域 L<sub>b</sub> 区間とその他 L<sub>a</sub> 区間の N-ε 関係を示す。算出した N-ε<sub>b</sub> 関係と N-ε<sub>a</sub> 関係を、3D 試験体と 6D 試験体と比較すると、両試験体とも概ね同様の履歴を描き、限界時においても局部座屈域 L<sub>b</sub> のひずみ ε<sub>b</sub> は、ほぼ一致する。したがって、同断面であれば試験体長さが異なっても局部座屈域 L<sub>b</sub> の特性は同じである。Fig.7 に、両試験体の N-ε<sub>b</sub> 関係と 6D 試験体で計測した局部座屈発生付近のひずみによる N-ε 関係を示す。図より、N-ε<sub>b</sub> 関係と N-ε 関係が概ね対応していることがわかる。

算出した局部座屈域 L<sub>b</sub> 区間のひずみ ε<sub>b</sub> に局部座屈域 L<sub>b</sub> の長さを乗じて、変位 δ<sub>b</sub> に換算し、局部座屈域 L<sub>b</sub> の限界変位 δ<sub>ub</sub> の検討を行う。

Fig.8 に局部座屈域 L<sub>b</sub> 区間の N-δ<sub>b</sub> 関係を示す。図から、局部座屈域 L<sub>b</sub> の限界変位 δ<sub>ub</sub> が -3.8 mm 程度であることがわかる。Fig.9 には、N-δ 関係、N-δ<sub>b</sub> 関係および両試験体の限界変位 δ<sub>u</sub> をプロットしている。図中の限界変位 δ<sub>u</sub> は、6D 試験体と 3D 試験体で同一

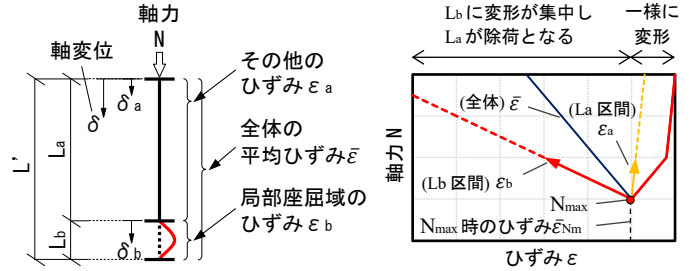


Fig.5 Conceptual of history of local buckling region

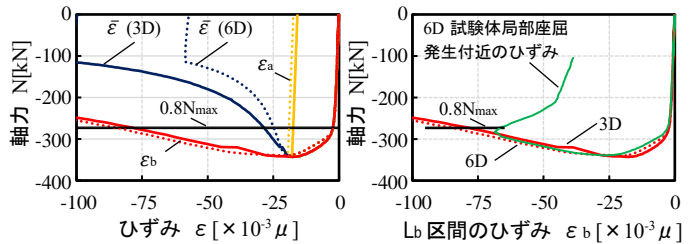


Fig.6 Axial force-calculated strain relationship

Fig.7 Strain in local buckling region

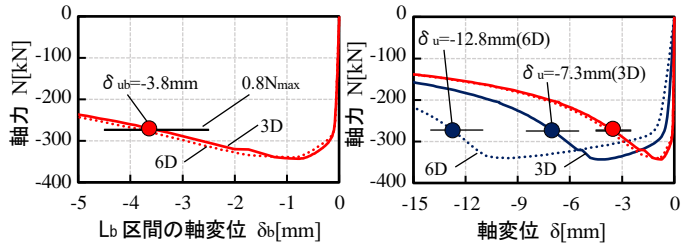


Fig.8 Displacement in local buckling region

Fig.9 Critical displacement relationship

の局部座屈域 L<sub>b</sub> 区間の限界変位 δ<sub>ub</sub> (= -3.8 mm) を用いて算定しているが、試験体長さが異なることにより L<sub>a</sub> 区間の長さが変わることによって実験結果に対応した限界変位 δ<sub>u</sub> が評価できていることがわかる。

以上、試験体長さの異なる2つの試験体の実験結果から、局部座屈域 L<sub>b</sub> 区間の特性は同じであり、この区間の限界変位 δ<sub>ub</sub> を評価すれば、試験体長さに関わらず試験体全体の限界変位 δ<sub>u</sub> が評価できることがわかった。

### 4. まとめ

以上より、長さの異なる試験体の単調圧縮荷重実験の結果から、局部座屈域 L<sub>b</sub> に焦点をあて、その区間の限界変位 δ<sub>ub</sub> と試験体全体の限界変位 δ<sub>u</sub> を検討した。

#### 【参考文献】

[1] 波田, 北嶋ほか: 折返しブレースの構造特性に関する実験的研究(その1~7), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.747-750, 2012.7, pp.1287-1292, 2013.7, pp.1052-1053, 2014.7, pp.1077-1078, 2015.7  
 [2] 波田, 北嶋ほか: 折返しブレースの芯材の局部座屈挙動に関する実験的研究(その1~4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1201-1204, 2020.9, pp.993-996, 2021.9